

子午面扩张对燃气轮机级效率的影响

[苏] K·M·拉先柯等

主题词：燃气轮机 空气动力学

当设计透平时，轴流式透平进口处子午面通道形式的选择具有很大的意义。通道的形状确定了透平的尺寸和它的经济性。当轴向尺寸受到严格限制时，这种选择较复杂。这时通流部份的急剧扩张既要依靠级间的过渡扩压器，又要依靠导叶来实现。

子午面扩张对透平级内损失的影响相当大[1—8]。在旋转模型的试验研究中获得有关损失的最可靠的定量数据，而研究叶栅时[2,8]，得到的只是定性的比较结果，因为子午面扩张的导向叶栅中的损失仅是级损失中的一部份。大多数研究是对工作于汽轮机低压缸中的叶栅和级的模型进行的。

燃气轮机比功率的增长以及每级中热降的增加导致通流部份中的轴向速度增大。燃气轮机高负荷级的特点在于其进口速度能量(相对级中的热降)比汽轮机级大得多。因此需要得到子午面通道扩张对具有 $\alpha_{1,0} = 22 \sim 25^\circ$ 的级效率影响的可靠的定量资料。图1和图2示出了单级通流部份的一些不同形式的子午面方案。

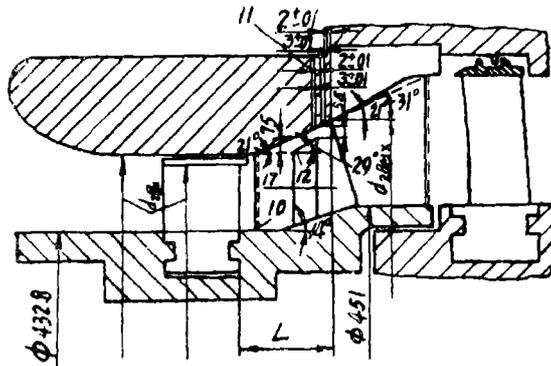
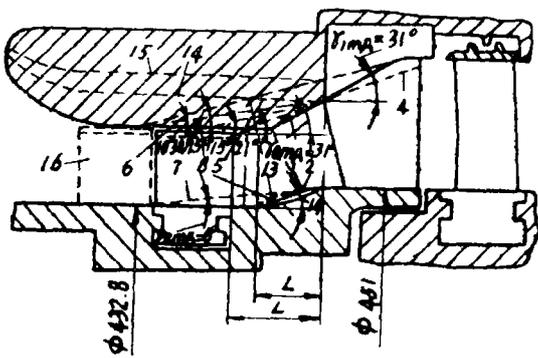


图1 所研究级的子午面形式的各种方案简图

图2 级的子午面形式的各种补充方案简图

所研究的级的通流部份几何特性参数

叶片的根部直径, MM:

动叶 $D_{крД}$ 450

导叶 $D_{кНД}$ 451

叶片高度, MM:

动叶 l_p 58.5

导叶 l_H 56.0

动叶弦长 b_p , MM :	
D_1	30.0
C_{cp}	30.9
D_2	34.6
有效角 α_1 :	
D_1	23°33'
D_{cp}	25°01'
D_2	27°51'
动叶气流入口角 β_1 :	
D_1	32°18'
D_{cp}	42°48'
D_2	57°02'
动叶气流出口角 β_2 :	
D_1	36°34'
D_{cp}	34°06'
D_2	31°54'
导叶弦长 b_H MM :	
D_1	61.921
D_{cp}	54.426
D_2	48.885
导叶相对节距 t_H :	
D_1	0.840
D_{cp}	0.845
D_2	0.852

在试验过程中,工作轮保持不变,而进口扩压器和导叶的限流面是改变的。进行了顶部扩张角为 $\gamma_{1mJ} = 31、21、15、0^\circ$ 五种导叶方案和宽的薄片叶片的试验研究。扩张角 $\gamma_{1mJ} = 21$ 和 15° 的导叶的 $\alpha_{1cp} = 26^\circ 30'$ 。

进口扩压器外表面的扩张角为 $0、10^\circ 31'、15、21$ 和 31° ,内表面的扩张角在 6 到 14° 之间变化。在扩压器入口处安装有转向的薄片叶片,它使气流由轴向转至与工作轮旋转方向相反的方向(19°)。

为了检查吹去和吸去进口扩压器上的附面层对级效率的影响,清除去滞止的附面层,使其流向大气(见图2),并且安装一个环,该环可除去扩压器外表面上的气流。表中列有所研究的各种方案的特征参数。总共研究了16种通流部份方案,其中五种在入口处是扭转的。级试验是在 $M_c = 0.3 \sim 0.35$ 和 $R_{cc} = (3 \sim 3.5) \times 10^5$ 情况下进行的。[9]中介绍了试验装置和试验方法。

为了考虑转向叶片(这些叶片使扩压器入口处的气流扭转)中的损失,在转向叶片的前、后设有静压测头。在转向叶片的后面装有三孔探针,由它测取扭转角。由测量结果求出带有

方案号	$\gamma_{1m\pi}$	$\gamma_{1m\pi}$	γ_{2BH}	d_{2Bx}	L	d_{2BHx}	$\alpha_{\partial n}$	$\alpha_{\partial n}$	$\alpha_{\partial no}$	ζ_{Bx}	$\delta\alpha_{\partial Bx}$ 度	具有 转向 叶片	备注
	度			MM			度						
1	31	31	—	496	29.3	533.2	67.44	61.3	93.7	0.345	-35.04	+	-
2	21	31	14	494	38	533.2	62.7	61.3	93.7	0.266	-30.3	+	-
3	21	31	14	494	38	533.2	42.7	61.3	93.7	0.288	-10.3	-	-
4	21	21	14	494	38	530.8	57.6	49.8	88.33	0.316	-19.04	+	-
5	15	31	14	502.8	53.7	533.2	29.74	61.3	93.7	0.123	+2.7	-	-
6	10.5	31	6	502.8	80.6	533.2	20.06	61.3	93.7	0.137	+12.3	-	-
7	15	15	6	502.8	80.6	546	35.7	70.6	88.33	0.121	-18	-	-
8	15	15	14	502.8	80.6	546	35.7	70.6	88.33	0.1025	-18	-	-
9	15	31	14	494	53.7	533.2	64.75	61.3	93.7	0.323	-32.4	-	直径 d_{2Bx} 减小的方案 5
10	21	21	14	494	36.5	530.8	—	39	93.7	0.872	+64.7	+	宽的薄片 叶片
11	21	31	14	494	36.5	533.2	64.75	61.3	93.7	0.431	-32.4	+	吸除附面 层
12	21	31	14	494	36.5	533.2	64.75	61.3	93.7	0.51	-32.4	+	吹掉附面 层
13	15	15	—	502.8	80.6	546	35.7	70.6	88.33	0.121	-18	-	-
14	0	31	14	531.2	—	533.2	0	58.4	93.7	0.139	+35.3	-	-
15	0	15	14	548.5	—	548.5	0	70.6	88.33	0	+17.7	-	-
16	15	15	14	494	79.2	546	47.45	70.6	88.33	0.287	-29.7	-	-

进口扩压器的级效率:

$$\eta_{\text{oric}} = \frac{\sum N_{\text{рт}} + N_{\text{но.шт}}}{G \left\{ c_p T_1 \left[1 - \left(\frac{P_{2\text{ст}}}{P_{1\text{ст}}} \right)^{\frac{(k-1)}{k}} \right] + \frac{C_{Bx}^2}{2} - \frac{C_{z2}^2}{2} \right\}} \quad (1)$$

式中 $N_{\text{рт}}$ 和 $N_{\text{но.шт}}$ ——水力测功器和轴承吸收的功率, G ——空气流量, C_p ——定压比热, T_1 ——级前总温, $P_{1\text{ст}}, P_{2\text{ст}}$ ——“扩压器——级”区段前, 后的静压, C_{Bx} ——气流进入扩压器的速度, C_{z2} ——级出口的轴向速度。

试验结果示于图3。当扩压器和导叶的扩张角为 $\gamma_{1m} = 31^\circ$ (方案1) 时, 级效率大约比圆柱状形式的级效率低15%。在中等扩张角时, 级的这一经济性下降看来和 [1, 4, 5] 中的试验数据相互矛盾。然而这矛盾是表面上的, 并易于用入口的能量差异来解释。方案1在“扩压器——级”区段入口处的气流能量是该区段总热降的~50%。无论吸除附面层(方案11), 还是用专用环吹掉附面层(方案12), 宽的薄片导向叶片都不能提高级的经济性。当扩压器外表面的扩张角减小时(直到 21°) (方案2), 效率稍微有些提高。

在导叶内沿全部宽度将扩张角减小到 21° (方案4) 以代替到喉部的 31° (方案2), 这将使级效率降低1.2%, 这证实了 [6] 的结论。只需要合理地完成喉部前导叶内外表面的扩张, 即使这时扩张角有所增加, 也是适宜的。

当去掉转向叶片时(方案3, 图1上未表示出来, 和方案2相比) 级的经济性显著提高了, 这主要是由于扩压器入口面积增大而气流入口能量降低所引起的。

当扩压器外表面扩张角由 21° 减小到 15° 时(方案5),级效率显著地提高。在 $\gamma_{1mn} = 31^\circ$ 的同样的导向叶片情况下,将扩压器的外扩张角进一步减小到 $10^\circ 31'$ 时(方案6),促使级效率下降。

扩压器的 $\gamma_{1mn} = 15^\circ$ 时,将导叶外表面扩张角减小到 $\gamma_{1mn} = 15^\circ$ 将使透平的经济性继续提高(方案7)。但是,这时内表面形式的选择成为重要的了。当内通道的形式为 $\gamma_{2mn} = 14^\circ$ (方案8)时,得到最大的效率增益,而当 $\gamma_{2mn} = 6^\circ$ (方案13)时,和方案5相比其效率没有显著提高。

在方案14和15中,对导叶扩张角为 $\gamma_{1mn} = 31$ 和 15° 、级入口处无扩压段的情况进行了研究。导叶扩张角为 $\gamma_{1mn} = 30^\circ$ 并且无入口扩压器的级(方案14)的效率比入口为圆柱形的级($\gamma_{1mn} = \gamma_{1m1} = \gamma_{2mn} = \gamma_{2m1} = 0$)的效率低2.4%,而方案15的效率和入口为圆柱形的级的效率几乎一样。

为了阐明进口扩压器入口处急剧突起的影响,研究了方案9(图1中未示出)和16,它们与方案5和8的不同处相应为,在扩压器入口处借助于一只直径小一些的环构成一个突起部分。方案9和16的级效率比方案5和8相应地降低8和10.5%。级效率下降如此大,不可能只是由于入口面积减小引起的。级效率的下降还可用进口扩压器中的损失增长来解释,这一损失增长是由于入口处急剧的突起以及与此相连的进口扩压器的当量扩张角增大引起的。

为了计算入口处子午面扩张的级的经济性,不将试验数据概括成效率和扩张角的关系,而概括成进口段产生的损失和扩压器以及导叶的扩张度的关系。这与下述情况有关,级效率不仅主要地和进口段的完善有关,而且和区段上热降中的进口能量部份有关。因此当进口段几何形状一样时, α_1 角不相同的级由于扩张不一样,所以效率降低的情况也不一样。马赫数 M_{c1} 的影响相类似。

在“扩压器——级”区段中被有效利用的热降可由下式表示

$$H_{N,n} = \eta'_{cT} (H'_{0,orc} - \zeta_{Bx} H_{Bx}) \quad (2)$$

式中 $H'_{0,orc}$ ——“扩压器——级”区段中的配置热降为

$$H'_{0,orc} = c_p T_1 \left[1 - \left(\frac{P_{2cT}}{P_{1cT}} \right)^{\frac{(K-1)}{\gamma}} \right] + C_{Bx}^2/2 - C_{x2}^2/2,$$

$H_{Bx} = C_{Bx}^2/2$ ——区段前的进口功能, ζ_{Bx} ——进口段的损失系数, η'_{cT} ——当入口处没有扩压段并且导叶通道形式为圆柱状时(1)式中的级效率。

公式(2)的左、右两部份各除以 $H'_{0,orc}$,可得

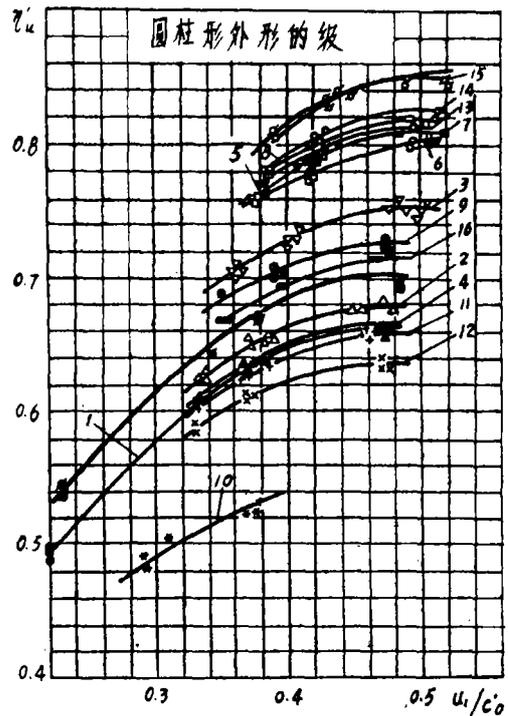


图3 方案(1—16)的级效率●——未计入转向叶片内的能量损失

$$\eta'_{0,rc} = \eta'_{c1} \left(1 - \zeta_{Bx} \frac{H_{Bx}}{H'_{0,orc}} \right) \quad (3)$$

式中 $\eta'_{0,rc} = H_{N,rc}/H'_{0,rc}$ ——“扩压器——级”区段的效率。

由公式(3)可知,当进口段上的损失相同时,即进口段几何形状相同时,比值 $H_{Bx}/H'_{0,orc}$ 越大,则子午面扩张的级的效率越低。因此进口段更加通用的特性损失是 ζ_{Bx} ;

$$\zeta_{Bx} = \frac{1}{\eta'_{c1}} (\eta'_{c1} - \eta'_{0,rc}) \frac{H'_{0,orc}}{H_{Bx}} \quad (4)$$

公式(4)中计入了进口段为扩张时的全部附加能量损失,而 ζ_{Bx} 值容易由试验确定。

采用当量扩张角 $\delta\alpha_{0,Bx}$ 作为确定进口段损失大小的基本参数是适宜的,对于轴—环型扩压器[10],由下式确定其当量扩张角 α_{01} :

$$\alpha_{01} = 2 \arctg \frac{\sqrt{F_2} - \sqrt{F_1}}{\sqrt{\pi L}}$$

式中 F_1, F_2 ——扩压器进口和出口处的面积; L ——扩压器的轴向长度。

对于导叶可以引用收敛度当量角 α_{0n} :

$$\alpha_{0n} = 2 \arctg \frac{\sqrt{F_{1n}} - \sqrt{F_{2n}}}{\sqrt{\pi b}}$$

式中 F_{1n}, F_{2n} ——导叶进、出口处的面积; b ——叶型弦长。

当导叶通道为圆柱形时,由公式(5)得:

$$\alpha_{0n0} = 2 \arctg \frac{\sqrt{D_{cp} l_H}}{b} (1 - \sqrt{\sin \alpha_1})$$

当导叶子午面通道是扩张形式时,和通道为圆柱形的导叶相比较, $\Delta\alpha_{0n} = \alpha_{0n0} - \alpha_{0n}$ 代表导叶收敛度的减小程度。

作为确定进口段损失的参数,利用 $\delta\alpha_{0,Bx} = \Delta\alpha_{0n} - \alpha_{01}$ 是方便的,该值代表叶片和它前面的扩压器的扩张度的差值。

以 $\eta_{Bx} = f(\delta\alpha_{0,Bx}; \gamma_{1mn})$ 关系形式表示的试验数据示于图4(作为比较,引入了其它作者的试验数据)。曲线1代表И.И.基里洛夫对导叶无扩张($\gamma_{mn} = 0$)的级做的试验结果[参考文献1];曲线2代表轴环式扩压器在后面没有级时的试验结果[参考文献10]。对曲线1和2进行比较可知,级前的环形扩压器比单独的扩压器的损失小,两者的比例关系大约是1:2.5。

曲线5代表 $\delta_i = 0$ 时对导叶前面的台阶入口的研究结果[3],这相当于 $\gamma_{1mn} = 90^\circ$,也是导叶子午面扩张的极限情况。

由图4可看出,增大叶片扩张角会导致损失增大,然而在每一个 γ_{1mn} 下,存在一个最小损失。进口段(在 $\gamma_{1mn} = \text{常数}$ 时),损失的最小值亦不保证子午面扩张的级和圆柱形通道的级相比较时效率损失最小。由方程

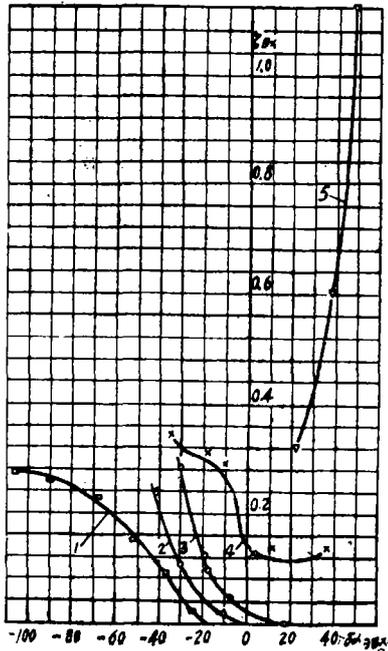


图4 进口段上的能量损失

3—— $\gamma_{1mn} = 15^\circ$ 4—— $\gamma_{1mn} = 31^\circ$

配63万千瓦机组的直流锅炉的设计、 安装、验收和运行

[丹麦]G. N. 苏尔 等

[提要]本文介绍63万千瓦机组(Enstedraehket 3)锅炉的热力和机械性能。该机组为直流锅炉,既可以燃煤也可以燃油。由得到丹麦Babcock动力有限公司许可的Vølund A/S工厂建造。

主题词: 直流锅炉 设计

引 言

Sønderjyllands Mjpspaendingsraerk(SH)于1972年12月首次与A/S Vølund和Babcock 动力有限公司商谈供应50~60万千瓦机组,双方于1974年11月就63万千瓦的燃煤和重油锅炉机组的设计、供应、制造和试运行事宜签订了合同。1977年1月在工地安装,1979年9月上旬投入商业运行。

建厂地点的选择是由下列因素决定的:

(a) Aabenraa Fjord是一个天然良港,可停10万吨级大型散装货轮,再加疏通可增至20万吨级。

(b) 丹麦在这里需要30万千瓦机组。

(c) 西德的NWK需要在靠近丹麦边界的地方有一台30万千瓦机组。

SH和NWK达成协议,在Aabenraa——西德丹麦边界以北约30公里地方建造60万千瓦机组,均担费用。那里原先就有一电厂及附属的设备维修站。

(3)可知,进口能量份额对于子午面通道形式为扩张的级的效率亦有很大的影响。因此对于通流部份为扩张的高通流能力级来说,减小 $\gamma_{1m\lambda}$ 和 γ_{1m} 角是减小效率损失的重要方法。这样做不仅可以减少 ζ_{bx} 值,而且还能减少在进口段给定轴向尺寸下的进口能量的份额。

参考文献 (略)

(谈增祥译自《Энергомашиностроение》1985年第2期吉桂明校)